

PENERAPAN SISTEM INFERENSI METODE *MIN-MAX* DALAM LOGIKA FUZZY UNTUK PENGATURAN *TRAFFIC LIGHT*

Bambang Irawanto, Desfri Kurniawan
Jurusan Matematika FMIPA UNDIP

Abstrak---Logika crisp merupakan sistem logika yang hanya mempunyai dua nilai keanggotaan benar atau salah. Dalam implementasinya, terdapat hal-hal yang tidak tepat bila direpresentasikan hanya secara benar dan salah. Karena itu, digunakanlah sistem logika fuzzy dimana terdapat nilai-nilai diantara benar dan salah. Konsep ini banyak diaplikasikan terutama untuk sistem kontrol, salah satunya pada *traffic light*. Sistem pengaturan *traffic light* dengan konsep logika fuzzy mampu bekerja sesuai kondisi jalan yang diaturnya. Sistem inferensi fuzzy menggunakan metode *Min-max*. Input crisp diubah menjadi input fuzzy, kemudian dievaluasi dengan basis pengetahuan menggunakan kaidah-kaidah fuzzy yang akhirnya dihasilkan sebuah solusi daerah fuzzy. Daerah solusi ini selanjutnya dilakukan defuzzifikasi untuk mendapatkan sebuah solusi crisp sebagai dasar penentuan durasi lampu hijau pada *traffic light*.

Kata kunci : Logika fuzzy, sistem inferensi fuzzy, metode *min-max*

1. PENDAHULUAN

Lampu lalu lintas adalah faktor penting dalam pengaturan transportasi jalan raya. Semakin berkembangnya zaman makin ramai pula jumlah kendaraan yang melintas. Masalah yang akan timbul adalah ketidakaturan lalu lintas serta kemacetan, terutama pada jalur sibuk dan padat. Bahkan, mungkin pula terjadi di daerah lampu lalu lintas (*traffic light*) sebagai pengatur jalan.

Pengaturan *traffic light* yang baik adalah yang mampu mengetahui kondisi pada saat itu. Sistem pengaturan yang digunakan saat ini adalah dengan menentukan terlebih dahulu siklus waktunya (*preset cycle time*). Misalnya, nyala lampu merah dan hijau akan berganti setiap 100 detik. Durasi yang didapat dari sistem ini dirasa mempunyai kelemahan, yaitu mengabaikan keadaan jalur yang diaturnya. Dengan begitu, bisa saja selama durasi nyala lampu hijau, jarang kendaraan yang melintas. Sementara jalur lain yang sedang mendapat lampu merah, kendaraan amat padat, dan harus menunggu giliran lampu hijau yang masih mengatur "*jalur kosong*". Hal seperti inilah yang membuat tujuan keberadaan lampu lalu lintas sebagai pengatur jalan dirasa menjadi kurang maksimal.

Alternatif solusi yang mungkin dilakukan adalah dengan merencanakan penggunaan aturan logika fuzzy pada sistem pengaturan *traffic light*. Perencanaan sistem

pengaturan *traffic light* baru yang berbasis logika fuzzy ini digunakan dengan menerapkan metode *Min-max* pada sistem inferensinya. Sistem bekerja menggunakan pemasangan sensor *incremental* yang diletakkan pada tiap ruas jalan, dimana terdapat dua sensor pada tiap-tiap ruasnya yaitu sensor depan dan belakang. Daerah diantara sensor depan dan belakang merupakan daerah kontrol, yang mana jumlah kendaraan pada daerah ini akan selalu dimonitor untuk mengetahui tingkat kepadatannya. Jumlah kendaraan inilah yang menjadi input dari sistem yang akan dibuat.

Dengan pengaturan *traffic light* berbasis logika fuzzy dapat diketahui kondisi dari tiap-tiap jalur yang memungkinkan pemberian layanan lampu yang berubah sesuai dengan keadaan dan kebutuhan dari tiap jalur berdasarkan konsep sistem inferensi fuzzy.

2. LOGIKA FUZZY DAN PENGATURAN *TRAFFIC LIGHT*

Beberapa aspek dalam kehidupan nyata biasanya berada di luar sebuah model matematis tertentu atau bersifat *inexact*. Sebab, banyak terdapat ketidakjelasan atau ketidakpastian terhadap sesuatu. Beberapa macam bentuk ketidakpastian, diantaranya keambiguan (*ambiguity*), keacakan (*randomness*), ketidakjelasan akibat tidak

lengkap informasi (*in-completeness*), ketidaktepatan (*imprecision*), serta kekaburan semantik. Kekaburan semantik merupakan suatu bentuk kekaburan yang disebabkan makna dari suatu kata yang tidak dapat didefinisikan secara tegas Konsep inilah yang mendasari lahirnya logika dan himpunan fuzzy.

Pada teori himpunan crisp atau himpunan tegas, elemen dari suatu himpunan hanya memiliki dua opsi keanggotaan. Misalkan himpunan A, maka kemungkinannya adalah menjadi anggota dari A atau bukan anggota A [4]. Sehingga pada teori himpunan crisp hanya akan ada dua nilai keanggotaan $\mu(x)$ yaitu : $\mu(x) = 1$ untuk menjadi anggota, dan

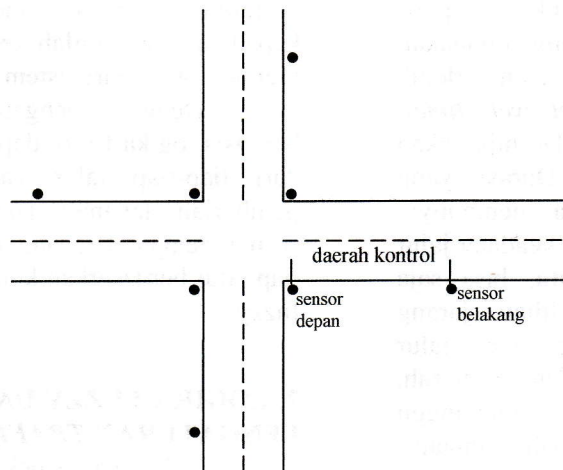
$\mu(x) = 0$ bagi yang bukan anggota.

Himpunan fuzzy didasarkan pada gagasan memperluas jangkauan fungsi karakteristik sedemikian hingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaan menunjukkan suatu variabel tidak hanya bernilai benar atau salah, tetapi terdapat nilai diantaranya. Semesta pembicaraan

merupakan keseluruhan ruang permasalahan dari nilai terkecil hingga yang terbesar yang diperbolehkan untuk dioperasikan. Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam sebuah semesta pembicaraan dalam suatu himpunan fuzzy [3].

Sistem kontrol ini akan digunakan untuk mengatur persimpangan empat dimana tiap jalannya terdapat dua jalur. Sehingga untuk sebuah persimpangan empat dibutuhkan delapan buah sensor.

Sistem menggunakan dua masukan dan satu keluaran. Digunakan dua masukan bertujuan agar sistem yang dibuat tidak hanya memperhatikan jalur yang diatur saja, tetapi juga melihat kondisi jalur lainnya yang juga menunggu pelayanan sistem. Misalnya, untuk menentukan durasi lampu hijau Jalur I, maka digunakan masukan jumlah kendaraan Jalur I dan jumlah kendaraan Jalur II, dan begitu seterusnya. Satu putaran dianggap selesai bila seluruh jalur jalan telah mendapatkan pelayanan lampu.



Gambar 3.1. Struktur dari sistem kontrol fuzzy

Input : 1. Jumlah kendaraan pada jalur yang diatur
2. Jumlah kendaraan jalur yang menunggu
Output : Durasi lama nyala lampu hijau pada jalur yang diatur

3.PERANCANGAN TRAFFIC KONTROL LOGIKA FUZZY

Perancangan sistem kontrol berbasis logika fuzzy, memerlukan beberapa tahapan yaitu pembentukan himpunan fuzzy, penentuan fungsi keanggotaan dengan representasi yang sesuai, dan penentuan basis aturan atau kaidah fuzzy yang digunakan sebagai eksekutor sistem.

3.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy

Pada jumlah sebaran kendaraan dibagi menurut kepadatan yaitu *Tidak*

Padat, Normal, Padat, dan Sangat Padat. Sedangkan untuk durasi nyala lampu (sebagai output) adalah *Cepat, Sedang, Agak Lama, dan Lama.* Deskripsi linguistik tersebut akan lebih dapat mewakili situasi jalan yang akan diatur, sebab telah mempunyai sebuah daerah dengan jangkauan tertentu yang menunjukkan derajat keanggotaannya yaitu $\mu(x)$ dengan x adalah jumlah kendaraan. Derajat keanggotaan dengan nilai yang bergradasi tersebut bertujuan mengurangi lonjakan pada sistem.

Tabel 3.1. Himpunan Fuzzy

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain
Input	[JKD]	Tidak Padat (TP) Normal (N) Padat (P) Sangat Padat (SP)	[0,8] [4,12] [8,16] [12, ∞]
	[JKS]	Tidak Padat (TP) Normal (N) Padat (P) Sangat Padat (SP)	[0,8] [4,12] [8,16] [12, ∞]
Output	[DL]	Cepat [C] Sedang [S] Agak Lama [AG] Lama [L]	[0,20] [14,50] [40,80] [74,100]

3.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan berguna untuk proses perubahan nilai input umum ke dalam bentuk input fuzzy, dengan derajat keanggotaan $\mu(x)$ yang bernilai antara 0 sampai 1 pada himpunan fuzzy.

$\mu(x) : a \rightarrow [0,1]$ dimana a adalah himpunan universal.

Digunakan fungsi kurva segitiga dan kurva bentuk bahu untuk merepresentasikannya. Bentuk pendekatan inilah yang lebih sesuai untuk merepresentasikan himpunan fuzzy di atas dengan lebih akurat. Sumbu y adalah derajat keanggotaan dari tiap variabel fuzzy. Sumbu x menunjukkan semesta pembicaraan.

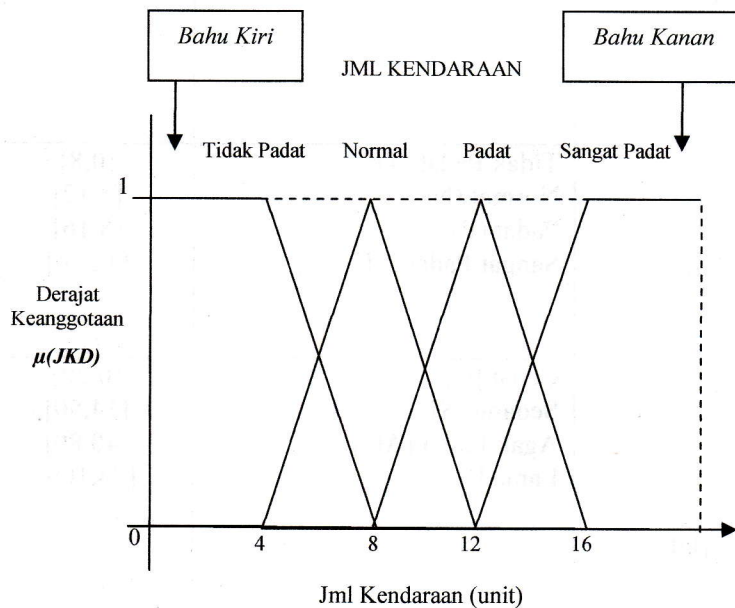
- Jumlah Kendaraan Jalur yang Diatur (JKD) :

$$\mu_{TP} [JKD] = \begin{cases} 1 & JKD \leq 4 \\ (8 - JKD) / 4 & 4 \leq JKD \leq 8 \\ 0 & JKD \geq 8 \end{cases}$$

$$\mu_N [JKD] = \begin{cases} 0 & JKD \leq 4 \text{ atau } JKD \geq 12 \\ (JKD - 4) / 4 & 4 \leq JKD \leq 8 \\ (12 - JKD) / 4 & 8 \leq JKD \leq 12 \end{cases}$$

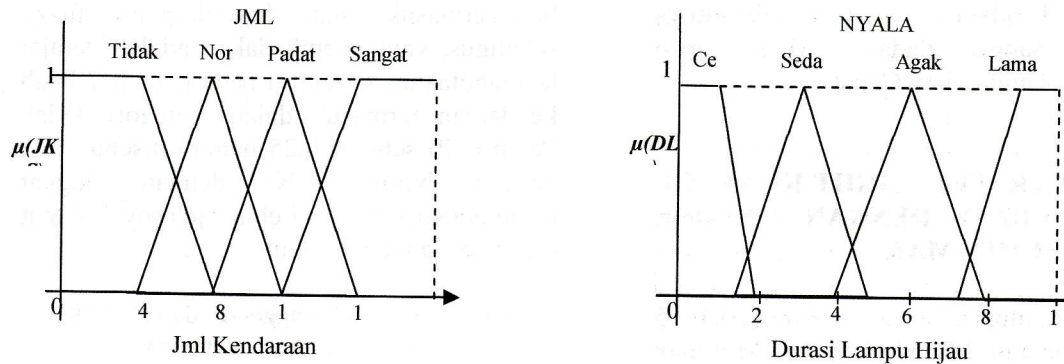
$$\mu_P [JKD] = \begin{cases} 0 & JKD \leq 8 \text{ atau } JKD \geq 16 \\ (JKD - 8) / 4 & 8 \leq JKD \leq 12 \\ (16 - JKD) / 4 & 12 \leq JKD \leq 16 \end{cases}$$

$$\mu_{SP} [JKD] = \begin{cases} 0 & JKD \leq 12 \\ (JKD - 12) / 4 & 12 \leq JKD \leq 16 \\ 1 & JKD \geq 16 \end{cases}$$



Gambar 3.2.
Fungsi Keanggotaan Jumlah Kendaraan Jalur yang Diatur

- Jumlah Kendaraan Jalur Selanjutnya (JKS) :
- Durasi Lampu Hijau Jalur yang Diatur (DL) :



Gambar 3.3.

Fungsi Keanggotaan Jumlah Kendaraan Jalur Selanjutnya dan Durasi Lampu Hijau

Lebar atau pusat fungsi keanggotaan dapat diubah sesuai dengan kondisi dari *traffic light*. Misalnya jika *traffic light* adalah jalur padat suatu kota, maka penentuan fungsi keanggotaan jumlah kendaraan dapat dinaikkan. Begitu pula sebaliknya.

3.3 Basis Kaidah Fuzzy (Fuzzy Rule Base)

Merupakan himpunan implikasi-implikasi yang berlaku sebagai aturan dalam sistem. Basis kaidah ditunjukkan dengan adanya sekumpulan pernyataan linguistik atau disebut proposisi fuzzy. Proposisi atau aturan fuzzy ditentukan terlebih dahulu agar sistem kontrol fuzzy sesuai dengan keadaan. Sampai saat ini belum ada aturan yang mengikat dalam penentuan basis kaidah ini. Sehingga penentuan berdasar pada pengetahuan pakar serta pengalaman operator.

Akan diberikan tabel FAM (*Fuzzy Associative Memory*) untuk membentuk kaidah atau *rule* yang akan digunakan. Bentuk dari *rule* adalah :

IF (anteseden1) AND (anteseden2) THEN
(konsekuen)

Tabel 3.2. Tabel FAM untuk Sistem Kontrol Traffic Light

Input 2 Input 1	TP	N	P	SP
TP	C	C	C	C
N	S	S	S	C
P	AL	AL	S	S
SP	L	AL	AL	S

Dari tabel di atas dapat dibuat enam belas *rule* atau aturan fuzzy yang nanti digunakan dalam proses inferensi, sebagai berikut :

- Rule 1 : IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Cepat
- Rule 2 : IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Cepat
- Rule 3 : IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat THEN durasi lampu hijau Cepat

Rule 4 : IF jumlah kendaraan jalur diatur
Tidak Padat AND jumlah
kendaraan jalur selanjutnya
Sangat Padat THEN durasi
lampu hijau Cepat
dan seterusnya

4. SISTIM TRAFFIC LIGHT KONTROL LOGIKA FUZZY DENGAN METODE INFERENSI MIN-MAX

Ebrahim Mamdani, 1975 memperkenalkan Metode inferensi Min-max atau sering pula disebut inferensi Mamdani. Beberapa tahapan penyelesaian masalah setelah terbentuknya himpunan fuzzy diantaranya adalah *Fuzzifikasi, Evaluasi Kaidah, Inferensi, Komposisi, serta Defuzzifikasi*. Setelah melalui proses tersebut barulah akan didapat suatu output crisp sebagai solusi.

Misalkan pada suatu waktu, kondisi di sebuah *traffic light* adalah

- Dari Arah Selatan (Jalur I) : 7 unit kendaraan
- Dari Arah Barat (Jalur II) : 15 unit kendaraan
- Dari Arah Utara (Jalur III) : 11 unit kendaraan
- Dari Arah Timur (Jalur IV) : 19 unit kendaraan.

4.1 Fuzzifikasi

Merupakan rangkaian proses pengubahan input crisp berupa jumlah kendaraan menjadi input fuzzy berupa derajat keanggotaan dalam suatu himpunan fuzzy. Pada proses ini akan dicari derajat keanggotaan variabel input yang sudah terbagi dalam beberapa himpunan fuzzy. Misalkan sebagai contoh mencari keanggotaan tiap himpunan fuzzy :

$$\begin{aligned} \text{Jalur I : } \mu_{TP} [7] &= \text{Jalur II : } \mu_{TP} [15] = (8-7)/4 = 0,25 & 0 \\ \mu_N [7] &= (7-4)/4 = 0,75 & \mu_N [15] = 0 \\ \mu_P [7] &= 0 & \mu_P [15] = (16-15)/4 = 0,25 \\ \mu_{SP} [7] &= 0 & \mu_{SP} [15] = (15-12)/4 = 0,75 \end{aligned}$$

dan seterusnya.

Suatu masukan crisp tidak hanya menjadi satu anggota himpunan fuzzy, tetapi bisa termasuk dalam dua himpunan fuzzy sekaligus, yang membedakan adalah derajat keanggotaannya. Seperti pada jalur I, 7 buah kendaraan termasuk dalam kategori Tidak Padat (TP) sebesar 0,25 namun disebut pula dengan Normal (N) dengan tingkat keanggotaan 0,75. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.3. Nilai keanggotaan dari JKD/JKS sesuai fungsi keanggotaannya

JKD / JKS	μ_{TP}	μ_N	μ_P	μ_{SP}
7	0,25	0,75	0	0
11	0	0,25	0,75	0
15	0	0	0,25	0,75
19	0	0	0	1

4.2 Evaluasi Kaidah (Rule Evaluation)

Merupakan proses pengecekan tiap aturan pada basis kaidah. Jika nilai *fire strength* $\neq 0$, maka pada kaidah tersebut proses terus berjalan. Sebaliknya, jika nilai *fire strength* = 0, maka proses akan berhenti/selesai [1].

Menentukan durasi lampu jalur I :

digunakan input jumlah kendaraan jalur I sebagai JKD dan jumlah kendaraan jalur II sebagai JKS.

- R 1 : IF [JKD] is TP AND [JKS] is TP THEN [DL] is C

$$\alpha_1 = \mu_{JKD \cap JKS} = \min(\mu_{TP}[7], \mu_{TP}[15]) = \min(0,25 ; 0) = 0$$

- R 2 : IF [JKD] is TP AND [JKS] is N THEN [DL] is C

$$\alpha_2 = \mu_{JKD \cap JKS} = \min(\mu_{TP}[7], \mu_N[15]) = \min(0,25 ; 0) = 0$$

dan seterusnya

Menentukan durasi lampu jalur-jalur yang lain, analog.

Hasil *fire strength* (α -predikat) dari tiap kaidah dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.4. *Fire Strength* (α -predikat) dari tiap kaidah

Input	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}	α_{15}	α_{16}
Jalur I&II	0	0	0,25	0,25	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
Jalur II&II I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0,25	0,75	0
Jalur III&I V	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0,75	0	0	0	0
Jalur IV&I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,75	0	0

4.3 Inferensi

Inferensi disini dapat disebut pula sebagai aplikasi fungsi implikasi, dengan fungsi implikasi *min*. Kaidah yang menghasilkan daerah implikasi disebut kaidah yang *fire*. Untuk kaidah yang *not fire* (α -predikat=0), maka tidak ada daerah hasil implikasi. Aplikasi fungsi implikasi pada penentuan durasi lampu jalur I

Kaidah yang *fire* yaitu pada :

Rule 3, 4, 7 & 8 dengan $\alpha = 0,25$; $0,25$; $0,25$; dan $0,75$.

Rule 3 : Saat $\mu_C[DL] = 0,25$

sesuai dengan fungsi keanggotaannya, maka dapat ditentukan nilai DL adalah : $0,25 = \frac{(20 - DL)}{10}$

maka DL = 17,5 dan dapat disederhanakan

$$\text{Sehingga } \mu_{C_{R3}}[DL] = \begin{cases} 0,25 & DL \leq 17,5 \\ (20 - DL)/10 & 17,5 \leq DL \leq 20 \\ 0 & DL \geq 20 \end{cases}$$

Proses yang sama juga dilakukan pada rule 4, 7 & 8 (*fire*). Sehingga dihasilkan empat output fuzzy yang akan dikomposisikan pada proses selanjutnya.

Inferensi penentuan durasi lampu jalur-jalur yang lain, analog.

4.4 Komposisi Output Fuzzy

Sesuai sistem inferensi *Min-max*, dilakukan komposisi dengan metode *Max* untuk mendapatkan sebuah himpunan fuzzy tunggal dari tiap output variabel. Solusi diperoleh dengan mengambil nilai maksimum kaidah, kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikan ke output dengan operator OR (union).

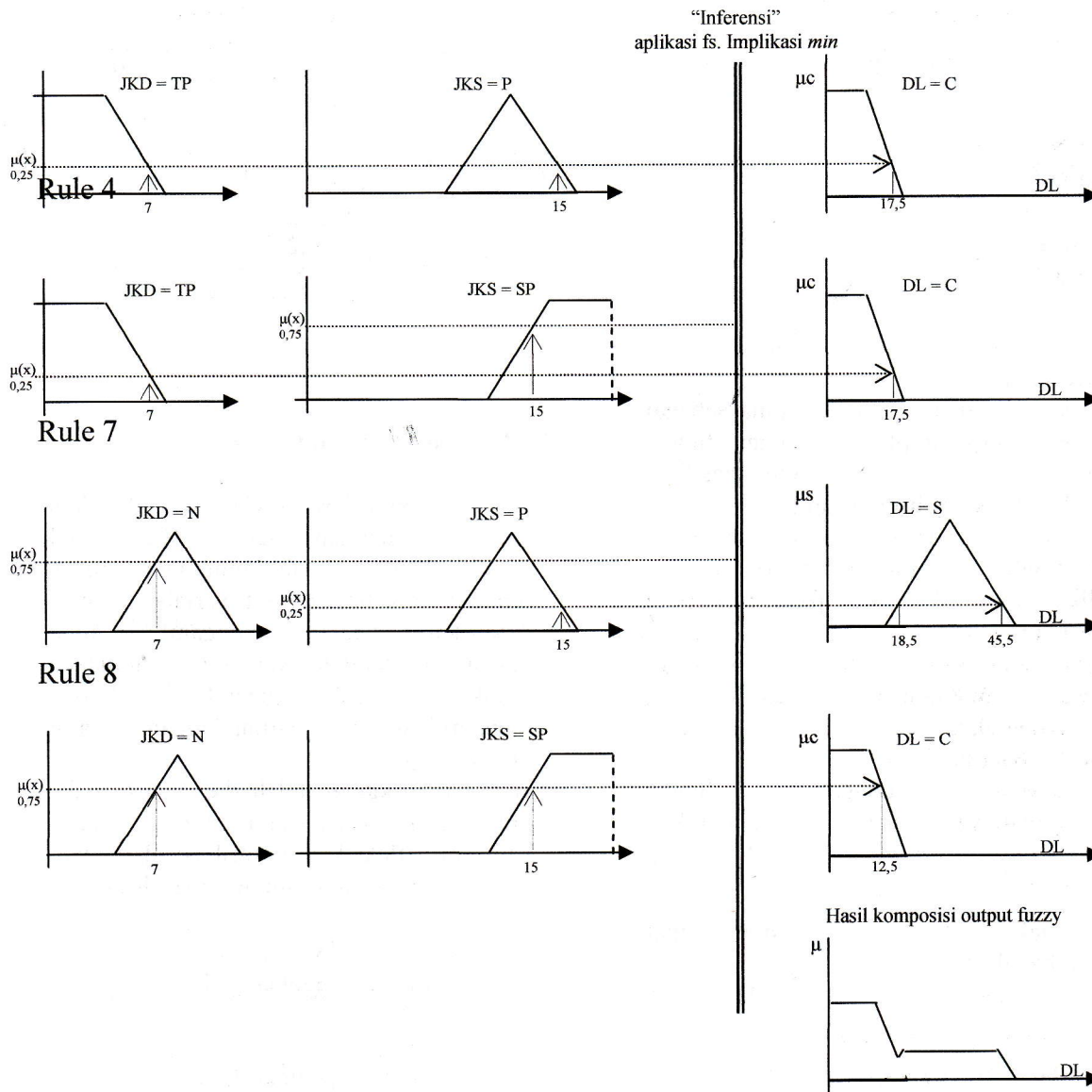
Jika semua kaidah telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap kaidah. Secara umum dapat dituliskan :

$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$ dengan $\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai kaidah ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy kaidah ke-i

Daerah solusi fuzzy untuk durasi lampu jalur I :

Rule 3



Gambar 3.4. Diagram proses inferensi dan komposisi fuzzy jalur I

Dari gambar di atas dapat diperoleh :

- Hasil dari Rule 3 dan 4 adalah sama
- Perpotongan antara Rule 4 dan 7 terjadi saat $DL=17,86$
 $(20-DL)/10 = (DL-14)/18 \rightarrow DL = 17,86$
- Perpotongan antara Rule 7 dan 8 terjadi saat $DL=17,86$
 $(20-DL)/10 = (DL-14)/18 \rightarrow DL = 17,86$

Sehingga diperoleh daerah solusi fuzzy dengan keanggotaan sbb :

$$\mu_c [DL] = \begin{cases} 0,75 & DL \leq 12,5 \\ (20-DL)/10 & 12,5 \leq DL \leq 17,86 \\ (DL-14)/18 & 17,86 \leq DL \leq 18,5 \\ 0,25 & 18,5 \leq DL \leq 45,5 \\ (50-DL)/18 & 45,5 \leq DL \leq 50 \\ 0 & DL \geq 50 \end{cases}$$

..... (*)

Komposisi penentuan durasi lampu jalur-jalur yang lain, analog.

4.5 Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi bertujuan mengubah solusi himpunan fuzzy tunggal menjadi suatu output crisp yang menyatakan durasi nyala lampu hijau. Output yang dihasilkan adalah suatu nilai bilangan dalam domain himpunan fuzzy tersebut. Metode yang digunakan ialah *Center of Gravity (COG)* atau *Centroid*.

Secara umum Metode *COG* atau *Centroid* dirumuskan :

$$\mu(x) = \frac{\int_a^b x_i \mu_s(y_i)}{\int_a^b \mu_s(y_i)}$$

untuk semesta kontinu, dan

$$\mu(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_s(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_s(y_i)}$$

untuk semesta diskret

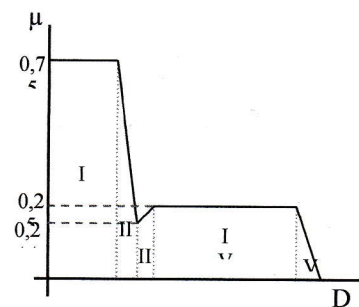
Metode *Centriod* memiliki kelebihan dari metode lain, yaitu [3] :

- Nilai defuzzifikasi akan bergerak secara halus, sehingga perubahan dari suatu subset fuzzy juga akan berjalan dengan halus pula
 - Konsisten, memiliki tinggi dan lebar daerah fuzzy yang sensitif
 - Lebih mudah dalam perhitungan
- Daerah solusi fuzzy hasil komposisi yang digunakan sebagai input defuzzifikasi bila digambarkan akan membentuk bangun yang tak teratur. Sehingga untuk mempermudah, daerah yang dicari titik pusatnya akan dipartisi menjadi beberapa bagian yang kemudian dihitung momen dan luasnya.

Defuzzifikasi daerah solusi fuzzy untuk durasi lampu hijau jalur I :

Partisi disesuaikan dengan derajat keanggotaan nilai-nilai pada daerah solusi fuzzy untuk durasi lampu jalur I [persamaan (*)]. Didapat 5 buah daerah bagian :

- Durasi lampu [DL] kurang dari 12,5 detik dengan $\mu = 0,75$
- Antara 12,5 – 17,86 detik dengan $\mu = (20-DL) / 10$
- Antara 17,86 – 18,5 detik dengan $\mu = (DL-14) / 18$
- Antara 18,5 – 45,5 detik dengan $\mu = 0,25$
- Antara 45,5 – 50 detik dengan $\mu = (50-DL) / 18$



Gambar 3.5. Solusi daerah fuzzy untuk durasi lampu jalur I

Untuk mencari titik pusat solusi daerah fuzzy tersebut, dilakukan dengan membagi jumlahan momen tiap daerah partisi dengan jumlahan luas bidangnya.

Mencari Titik Pusat :

$$DL = (M_I + M_{II} + M_{III} + M_{IV} + M_V) / (A_I + A_{II} + A_{III} + A_{IV} + A_V)$$

$$\begin{aligned} DL &= \\ &= \frac{58,5938 + 38,0594 + 2,6912 + 216 + 27,0127}{9,375 + 2,5835 + 0,1491 + 6,75 + 0,5531} \\ &= 17,6375 \end{aligned}$$

Hasil output crisp dari titik pusat inilah yang menjadi dasar pengambilan keputusan pengaturan sistem traffic light, yang menunjukkan durasi pelayanan lampu hijau untuk Jalur I yaitu ≈ 18 detik.

SIMPULAN

Perencanaan pengaturan dengan sistem inferensi fuzzy metode *Min-max* dapat memberikan hasil pelayanan yang dirasa lebih adil sebagai solusi sistem pengaturan yang baru pada *traffic light*. Sistem mampu bekerja sesuai dengan keadaan jalan pada jalur yang sedang diaturnya saat itu, yang berbeda dengan *traffic light* konvensional atau sistem *preset cycle time*. Dari hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa dengan memasukkan input jumlah kendaraan jalur diatur 7 unit dan jalur selanjutnya yang menunggu 15 unit, didapat durasi lampu hijau untuk jalur yang diatur adalah ≈ 17 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fahmy, Maged, 2007. *An Adaptive Traffic Signaling for Roundabout with Four-Approach Intersections Based On Fuzzy Logic*, Jurnal Komputer dan Teknologi Informasi, CIT 15, 1, 33-45.
- [2] J.S.R. Jang, C.T. Sun, dan E. Mizutani, 1997. *Neuro Fuzzy and Soft Computing*, Prentice-Hall, London.
- [3] Kusumadewi, Sri, 2002. *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tollbox Matlab*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [4] Kusumadewi, Sri, 2003. *Artificial Intelligence – Teknik dan Aplikasinya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [5] Kusumadewi, dan Hartati, 2006. *Neuro Fuzzy – Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [6] Prabowo Danny, 2000. *Implementing Fuzzy Logic in Determining Selling Price*. Jurnal Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- [7] Sahid, 2006. *Panduan Praktis Matlab*, Andi, Yogyakarta.
- [8] Susilo, Frans, 2006. *Himpunan dan Logika Kabur serta Aplikasinya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.